

Pengaruh Rapat Arus Dan Temperatur Elektrolit Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Efisiensi Katoda Pada Elektroplating Tembaga Untuk Baja Karbon Sedang

Harnowo Supriadi¹, Zulhanif², Khoiril Fadlil³

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Gedung H Fakultas Teknik, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1
Bandar Lampung, 35145 Telp: (0721) 3555519 Fax: (0721) 704947
Email : harnowo@unila.ac.id

Abstract

Acid copper electroplating has a quite wide current density and electrolyte temperature range, allowing the diversity of the coating result. The specimen is medium carbon steel AISI 1045, pure copper has a role as anode, and sulfuric acid plays the role of electrolyte.

Electroplating process conducted by the variations of current density 2, 3, 4, and 5 A/dm², and electrolyte temperature 30, 40, and 50°C, which lasted for 10 minutes. The layer resulted was measured its mass and thickness, and then we can obtain its cathode efficiency.

From the research, the actual coating thickness deviation obtained against its theoretical value is 0.42 to 18.37%. While the cathode efficiency resulted is between 78.33 to 97.78%. Based on coating thickness and cathode efficiency, the optimum conditions for electroplating process is gained at current density 3 A/dm² and electrolyte temperature 40°C.

Keywords : *electroplating, copper, current density, electrolyte temperature, coating thickness, cathode efficiency.*

PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan masa pakai dari sebuah produk logam, ditempuhlah berbagai macam cara, mulai dari heat treatment terhadap permukaan sampai dengan proses pelapisan. Proses pelapisan (coating) sendiri selain bertujuan untuk meningkatkan usia pakai suatu produk juga berfungsi sebagai unsur dekoratif. Dengan pelapisan permukaan, suatu produk akan dapat menyuguhkan penampilan yang lebih menarik. Salah satu proses pelapisan permukaan yang dikenal luas, yang sesuai untuk melapisi baja karbon sedang, baik di kalangan industri maupun masyarakat awam adalah metode pelapisan dengan menggunakan elektroplating. Prinsip dasar dari metode pelapisan ini dengan mengalirkan arus DC melalui sebuah penghantar, dimana penghantar tersebut dihubungkan dengan anoda dan katoda, yang keduanya dibenamkan ke dalam suatu larutan elektrolit. Ion dari anoda akan terlepas melapisi katoda, sehingga lapisan luar katoda akan terlapisi dengan partikel benda

yang baru. Pada proses elektroplating, tidak terjadi pemanasan pada komponen yang akan dilapisi, sehingga tidak ada resiko kerusakan sifat mekanik yang mungkin terjadi (Daryanto, 1999).

Salah satu material pelapis yang dapat digunakan dalam proses pelapisan dengan metode elektroplating adalah tembaga. Pelapisan elektroplating tembaga dapat diaplikasikan guna mencapai kondisi permukaan yang dikehendaki, baik dari segi kepentingan dekoratif maupun yang berkenaan dengan elektrifikasi.

Pelapisan tembaga asam memiliki range rapat arus dan temperatur proses yang cukup lebar yang memungkinkan terjadinya keberagaman lapisan yang dihasilkan. Hal ini sangat mungkin dapat terlihat pada kisaran nilai ketebalan lapisan dan juga efisiensi katodanya. Oleh sebab itu, perlu adanya suatu penyederhanaan dan penentuan titik operasi optimum dalam rangka mencapai hasil

pelapisan yang terbaik yang sesuai dengan apa yang kita kehendaki dari proses pelapisan tersebut. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk melihat masing-masing pengaruh rapat arus dan temperatur elektrolit, serta mempelajari pengaruh dari kombinasi keduanya terhadap besaran ketebalan lapisan dan efisiensi katoda yang dihasilkan. Serta mampu menentukan kombinasi rapat arus dan temperatur elektrolit optimum dalam rangka memperoleh efisiensi elektroda terbaik.

TINJAUAN PUSTAKA

Tembaga merupakan salah satu logam non-ferrous yang memiliki kekuatan yang cukup tinggi untuk dapat digunakan tanpa harus berupa paduan. Tembaga yang tingkat kemurniannya sangat tinggi memiliki massa jenis sebesar $8,933 \text{ g/cm}^3$ (Purwanto, 2006). Tegangan tarik dari tembaga dirol berat mencapai 375 N/mm^2 , sehingga untuk kebutuhan pemesinan yang kekuatannya lebih besar, tembaga harus dalam bentuk paduan (Daryanto, 1999). Sifat lunaknya membuatnya mudah untuk dibentuk menjadi batangan, serabut, dan pipa. Tembaga memiliki konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik, dan mempunyai ketahanan korosi yang baik pula. Penggolongan lapisan tembaga pada suatu material baja karbon dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tembaga yang menutupi permukaan baja. Dari penggolongan ini nantinya dapat dispesifikasikan aplikasi yang mungkin digunakan (Wahyudi, 1999).

Tabel 2. Kaitan ketebalan lapisan dengan pengelasan dan aplikasi lapisan tembaga

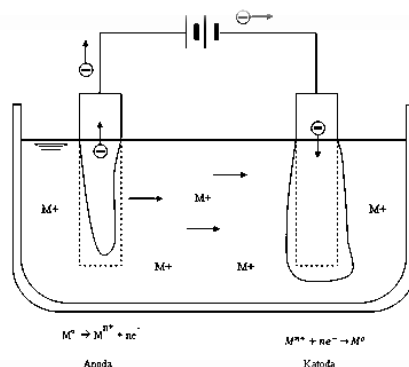
Kelas	Aplikasi	Ketebalan Lapisan (μm)
0	<i>Heat treat shield</i>	25,4 – 139,7
1	<i>Carburizing shield, decarburizing shield, PCB</i>	Min. 25,4
2	<i>Undercoat</i>	Min. 12,7

3	<i>Solderability</i>	Min. 5,08
4	<i>Solderability</i>	2,54 – 5,08

Proses Elektroplating

Proses elektroplating merupakan proses perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui elektrolit sehingga ion logam tersebut mengendap pada benda padat konduktif dan membentuk lapisan logam (Purwanto, 2006). Ion logam diperoleh langsung dari elektrolit atau dengan pelarutan anoda logam ke dalam elektrolit. Lapisan logam yang mengendap disebut juga sebagai deposit. Proses pelapisan logam secara elektroplating merupakan fenomena kebalikan dari korosi.

Prinsip utama proses elektroplating dapat dilihat pada gambar 1 (Van Vlack, 1994).

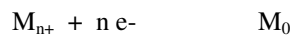


Gambar 1. Skema sederhana proses elektroplating

Dalam pelapisan elektroplating diperlukan dua buah elektroda, larutan elektrolit dan sumber elektron. Dalam prakteknya, elektron dihasilkan oleh suatu sumber arus listrik searah (DC), dapat berupa batu baterai, accumulator, atau pengubah arus (rectifier) yang dihubungkan dengan elektroda. Sumber arus listrik DC dihubungkan dengan dua buah elektrolit, yaitu anoda dan katoda. Anoda terhubung dengan kutub positif dari sumber arus, sedangkan katoda terhubung dengan kutub yang berlawanan. Arus listrik, yang bermuatan elektron, mengalir dari anoda ke

katoda melalui elektrolit, sehingga benda yang diposisikan sebagai anoda adalah logam yang digunakan untuk melapisi. Sementara sebagai katodanya benda yang akan dilapisi.

Ion logam (M^{n+}) dalam elektrolit yang bermuatan positif menuju benda kerja sebagai katoda yang bermuatan negatif, sehingga ion logam (M^{n+}) akan tereduksi menjadi logam M dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Menurut reaksi:



Posisi ion logam dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel di katoda akan digantikan oleh anoda logam yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit atau dari penambahan larutan senyawa logam. Sehingga pada anoda terjadi oksidasi menurut reaksi:



Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda makin lama makin berkurang, dan terjadi pengendapan logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja.

Tebal lapisan yang terbentuk pada katoda dapat dihitung dengan persamaan berikut (Hakim, 2005) :

$$d = V/A$$

dengan :

d = Tebal lapisan (cm)

V = volume lapisan yang menempel pada katoda

A = Luas permukaan katoda yang terlapisi (cm²).

Efisiensi plating pada umumnya dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk mengendapkan logam pada katoda yaitu dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam elektrolit sebanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut

Hukum Faraday.

Kondisi plating dikatakan baik bila diperoleh efisiensi katoda sama dengan efisiensi anoda, sehingga konsentrasi larutan bila menggunakan anoda aktif akan selalu tetap.

Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi plating sebesar 100% ataukah lebih kecil. Adanya kebocoran arus listrik, larutan yang tidak homogen dan elektrolisis air merupakan beberapa penyebab rendahnya efisiensi.

Efisiensi katoda dituliskan sebagai berikut :

$$\eta = W' / W$$

dengan

W' : berat nyata endapan pada katoda

W : berat teoritis endapan pada katoda menurut Hukum Faraday.

METODE PENELITIAN

Bahan uji/benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang AISI 1045 dengan dimensi spesimen uji 40 x 25 x 4 mm. Sehingga luas permukaannya adalah sebesar 0,252 dm². Dengan bahan pelapis tembaga murni.

Penelitian dilakukan dengan melalui serangkaian urutan kegiatan, diawali dengan kegiatan preparasi alat, bahan dan komponen penelitian lainnya, sampai dengan pengujian hasil penelitian, guna memperoleh data data akurat mengenai penelitian yang dilakukan. Secara rinci, penelitian yang dilakukan dapat dijabarkan sebagai urutan-urutan kegiatan sebagai berikut :

1. Penyediaan dan Perakitan Alat Pelapisan
2. Pembuatan Larutan Elektrolit
3. Persiapan Benda Kerja
 - a. Pengkondisian kerataan permukaan
 - b. Pembersihan Alkali dan Pengompleks
 - c. Pencelupan asam (*acid dipping*)
4. Proses Pelapisan dan Pengujian Hasil Pelapisan

Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas

data, yakni rapat arus dan temperatur elektrolit. Untuk sampai pada nilai efisiensi katoda, maka dibutuhkan massa aktual lapisan dan massa teoritis lapisan. Besaran massa aktual lapisan didapat dari pengurangan massa akhir spesimen setelah dilapisi dikurangi massa awal spesimen sebelum dilapisi. Sementara besaran massa teoritis lapisan diperoleh dari rumusan hukum Faraday. Ketebalan aktual lapisan adalah ketebalan lapisan rata-rata yang diperoleh dari hasil pengujian ketebalan lapisan di beberapa titik pada sampel yang diukur menggunakan mikroskop. Sedangkan ketebalan teoritisnya didapat dari penerapan hukum Faraday pula.

Secara teoritis, pelapisan electroplating tembaga asam dapat dilakukan pada range rapat arus 2 – 5 A/dm² dan temperatur elektrolit 30 – 50 °C. Sehingga dalam penelitian ini rapat arus yang digunakan bervariasi pada empat nilai, yakni 2, 3, 4, dan 5 A/dm². Sedangkan temperatur dibedakan menjadi tiga variasi, yakni 30, 40, dan 50°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan Efisiensi Katoda

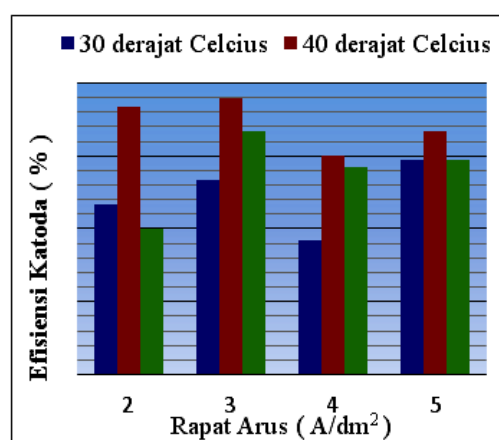
Nilai massa lapisan aktual yang didapat pada tabel 3 dan gambar 3 akan sangat diperlukan untuk dibandingkan dengan massa lapisan menurut kajian teoritis berdasarkan hukum Faraday, guna menghasilkan sebuah nilai efisiensi elektroplating, yang diwakili dengan efisiensi katoda-nya. Yang mana efisiensi katoda adalah persentase perbandingan antara massa lapisan aktual dengan massa lapisan teoritis hasil perhitungan dengan pengaplikasian hukum Faraday.

Tabel 2. Nilai efisiensi katoda berdasarkan massa teoritis dan aktual Lapisan.

Rapat Arus (A/dm ²)	T (°C)	Massa Rata-Rata Lapisan (gram)		Efisiensi Katoda (%)
		Teoritis	Aktual	
2	30	0.1	0.083	83.33
	40	0.1	0.097	96.67
	50	0.1	0.08	80.00
3	30	0.15	0.13	86.67

	40	0.15	0.147	97.78
	50	0.15	0.14	93.33
	30	0.2	0.157	78.33
4	40	0.2	0.18	90.00
	50	0.2	0.177	88.33
	30	0.25	0.223	89.33
5	40	0.25	0.233	93.33
	50	0.25	0.223	89.33

Untuk kemudian diperjelas dengan media grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 2. Grafik hubungan antara rapat arus dengan efisiensi katoda

Berdasarkan tabel 2 dan gambar 2, didapat informasi bahwa sebaran tingkat efisiensi katoda pada proses pelapisan tembaga pada baja karbon sedang AISI 1045 dengan elektrolit tembaga asam berada pada angka minimum 78,33 % pada kondisi rapat arus 4 A/dm² dan temperatur elektrolit 30 °C, dan titik maksimum 97,78 % pada keadaan rapat arus 3 A/dm² dan temperatur elektrolit 40 °C. Sebaran efisiensi katoda yang demikian terpisah sejauh 19,45 %.

Tren kurva yang dihasilkan dari hubungan rapat arus dan efisiensi katoda tidak dapat didefinisikan sebagai sebuah tren kurva tertentu. Angka perubahan efisiensi katoda yang naik turun tidak sebanding dengan perbesaran rapat arus yang digunakan, untuk tingkat temperatur elektrolit yang sama. Sebagai contoh, pada tingkat temperatur elektrolit 30 °C, perubahan rapat arus dari 2 ke 3 A/dm² menyebabkan kurva efisiensi katoda

bergerak naik, tapi tidak demikian dengan kurva efisiensi katoda ketika rapat arus diperbesar menjadi 4 A/dm^2 , dimana justru bergerak turun, sebelum kembali naik pada tingkat rapat arus yang terakhir, 5 A/dm^2 .

Fenomena yang demikian menunjukkan bahwa rapat arus tidak mempunyai pengaruh langsung terhadap efisiensi katoda yang dihasilkan. Artinya tidak dapat diartikan bahwa semakin tinggi rapat arus maka semakin tinggi efisiensi katodanya, dan sebaliknya. Hal ini dapat terjadi dikarenakan efisiensi katoda merupakan variabel terikat yang tergantung pada massa teoritis dan aktual lapisan yang dihasilkan, dan tidak terhubung langsung dengan rapat arus. Pada praktiknya, rapat arus memang menentukan nilai massa lapisan, baik secara teoritis maupun hasil aktualnya. Sehingga yang menentukan pergerakan kurva efisiensi katoda adalah sejauh mana perubahan massa aktual lapisan yang dihasilkan mampu mengimbangi pergerakan massa teoritis lapisan seiring dengan peningkatan rapat arus yang digunakan.

Alih-alih terlihatnya hubungan tertentu antara rapat arus dengan efisiensi katoda, justru terdapat sebuah hubungan yang terlihat lebih spesifik, yaitu nilai efisiensi katoda antar temperatur elektrolit yang berbeda pada rapat arus yang sama. Dimana ditunjukkan bahwa kurva efisiensi katoda pada suatu rapat arus yang sama akan naik seiring perubahan temperatur elektrolit dari 30 ke 40°C , dan akan kembali turun ketika temperatur elektrolitnya diperbesar dari 40 menjadi 50°C . Hal ini berlaku untuk seluruh tingkat rapat arus yang digunakan.

Tren pergerakan kurva efisiensi katoda yang demikian memunculkan fakta bahwa pada proses elektroplating pada temperatur 40°C memiliki kemungkinan untuk menghasilkan nilai efisiensi katoda yang lebih besar dibandingkan dengan kedua tingkat temperatur lainnya. Jika mengkombinasikan hubungan antara rapat arus – efisiensi katoda dan temperatur elektrolit – efisiensi katoda, maka didapat sebuah titik kerja optimum, guna menghasilkan efisiensi katoda terbaik, yakni pada rapat arus 3 A/dm^2 dan temperatur elektrolit 40°C .

Tinjauan Perbandingan Berdasarkan Ketebalan Lapisan

Dilihat dari tinjauan yang berbeda, kajian dapat ditelaah dari data ketebalan lapisan masing-masing spesimen yang dilapisi. Serupa dengan data massa lapisan, ketebalan lapisan juga dirujuk dari kondisi rapat arus dan temperatur elektrolit yang berbeda. Pada setiap tingkat rapat arus dan temperatur elektrolit tertentu, guna mengoptimalkan hasil yang didapat, diukur ketebalan lapisan di beberapa titik uji dengan mengambil data dari tiga spesimen berbeda, yang kemudian dari ketiganya ditarik sebuah nilai rata-rata.

Sebagai data pembanding bagi ketebalan aktual lapisan adalah harga ketebalan teoritisnya. Besarnya ketebalan teoritis lapisan diperoleh dari rangkaian persamaan berdasarkan aplikasi hukum Faraday, dimana melibatkan variabel konstanta elektroplating.

1. Tebal Teoritis Lapisan

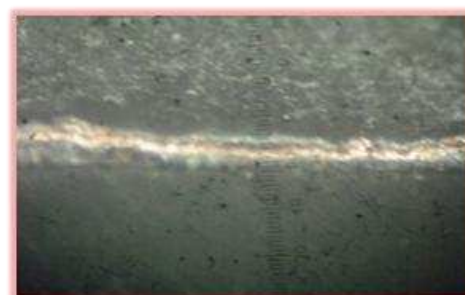
Tebal teoritis lapisan tercantum pada tabel 3.

Tabel 3. Tebal teoritis lapisan

Rapat Arus (A/dm^2)	Kuat Arus (A)	Tebal Teoritis Lapisan (mm)
2	0,5	0,0176
3	0,75	0,0265
4	1	0,0353
5	1,25	0,0441

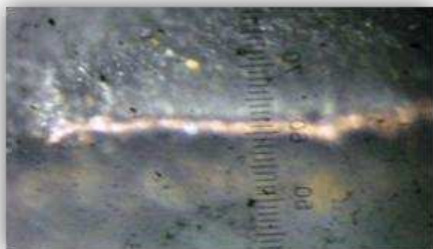
2. Tebal Aktual Lapisan

a. Rapat Arus 3 A/dm^2 dan Temperatur Elektrolit 30°C .



Gambar 3. Lapisan tembaga pada $J = 3 \text{ A/dm}^2$, $T_e = 30^\circ\text{C}$

b. Rapat Arus 3 A/dm² dan Temperatur Elektrolit 40 °C



Gambar 4. Lapisan tembaga pada $J = 3 \text{ A/dm}^2$, $T_e = 40^\circ\text{C}$

c. Rapat Arus 3 A/dm² dan Temperatur Elektrolit 50 °C

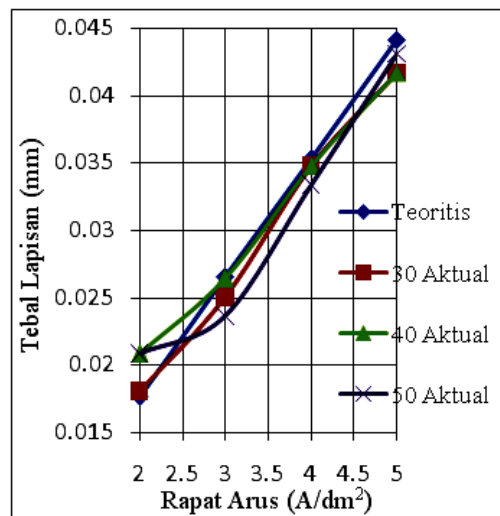


Gambar 5. Lapisan tembaga pada $J = 3 \text{ A/dm}^2$, $T_e = 50^\circ\text{C}$

Ketebalan aktual lapisan yang didapat dari pengukuran dengan menggunakan mikroskop optik, dikomparasikan dengan nilai tebal teoritis lapisan, untuk kemudian ditarik nilai penyimpangan yang terjadi antara keduanya.

Data-data yang tertera pada tabel 3, divisualisasikan dalam bentuk grafik, ditunjukkan pada gambar 6.

Berdasarkan tabel 3, terdapat nilai penyimpangan (error) yang bervariasi antara 0,42 – 18,37 %. Penyimpangan terendah terjadi pada rapat arus 3 A/dm² dan temperatur elektrolit 40 °C. Sedangkan error terbesar didapat pada pengambilan data dengan rapat arus 2 A/dm² dan temperatur elektrolit 40 – 50 °C.



Gambar 6. Perbandingan tebal teoritis dan aktual lapisan

Dari gambar 6, terlihat bahwa kurva ketebalan aktual lapisan yang didapat cenderung linier seiring dengan besarnya rapat arus, dengan harga ketebalan yang lebih kecil dari ketebalan teoritisnya. Pada rapat arus 3, 4, dan 5 A/dm², tren kurva ketebalan lapisan yang demikian terjadi di setiap tingkatan temperatur elektrolit, baik 30, 40, maupun 50 °C. Hanya saja, pada kondisi rapat arus 2 A/dm² terukur ketebalan aktual yang lebih besar daripada nilai tebal teoritisnya, terlebih pada kondisi temperatur elektrolit 40 dan 50 °C.

Terjadinya penyimpangan pola ketebalan aktual pada kondisi rapat arus 2 A/dm², sepatutnya tidak terjadi, dikarenakan nilai ketebalan teoritis lapisan merupakan nilai ketebalan yang menunjukkan efisiensi katoda 100 %. Artinya, ketika pencapaian efisiensi katoda mendekati 100 %, maka ketebalan aktual lapisan juga akan mendekati angka ketebalan teoritis, dengan persentase penyimpangan mendekati 0 %. Dengan kata lain, tebal aktual lapisan selayaknya tidak lebih besar daripada tebal teoritisnya. Anomali yang demikian dimungkinkan terjadi disebabkan oleh beberapa faktor kesalahan.

Ketebalan lapisan aktual hasil pelapisan dengan rapat arus 2 A/dm² yang begitu tipis memungkinkan ketidakakuratan pembacaan

pada skala mikroskop. Tebal lapisan pada kondisi tersebut hanya mencapai 1 – 2 strip pada skala mikroskop. Kesalahan penentuan antara 1 atau 2 strip pada skala memberi pengaruh yang begitu signifikan. Jika tebal aktual seharusnya 1 strip dan terbaca 2 strip, itu sudah mengandung arti terdapat kesalahan pembacaan sebesar 100 %. Sedemikian signifikannya sehingga sedikit kesalahan penentuan ketebalan akan sangat mungkin membuat nilai ketebalannya melebihi tebal teoritis yang diajukan.

Masih dengan masalah tipisnya lapisan, tapi dengan tinjauan penentuan titik pengukuran. Perbedaan titik pengukuran ketebalan sangat mungkin akan menghasilkan data hasil ketebalan yang berbeda. Andaikan pengukuran ketebalan yang dilakukan digeser dari titik A, B, C menjadi titik D, E, F, besar kemungkinan akan didapat hasil ketebalan yang juga berbeda.

Selain karena masalah tipisnya lapisan, dimungkinkan juga terjadi akibat begitu reaktifnya elektrolit tembaga asam yang digunakan. Pada praktiknya, begitu spesimen tersebut dibenamkan ke dalam elektrolit, partikel tembaga dari elektrolit akan langsung melekat dengan substrat. Sifat reaktif elektrolit ini menimbulkan peluang ketidakidealan variabel waktu (t) pada persamaan ketebalan lapisan, sehingga memungkinkan dihasilkannya lapisan yang lebih tebal dari yang seyogyanya terjadi.

Jika dilihat secara keseluruhan, secara umum, pola kurva ketebalan lapisan terhadap rapat arus dan temperatur elektrolit serupa dengan tren kurva massa lapisan terhadap rapat arus dan temperatur elektrolit. Pergerakan kurvanya sebanding dengan peningkatan rapat arus, tetapi tidak begitu dengan hubungannya dengan temperatur elektrolit yang digunakan. Dimana hubungan antara ketebalan aktual lapisan dengan temperatur elektrolit tidak begitu menunjukkan perbedaan yang kentara dan terjadi secara acak, tanpa dapat dikategorikan sebagai suatu pola tertentu.

Tren kurva tebal lapisan yang mengikuti pergerakan rapat arus sejalan dengan pengaruh

rapat arus terhadap tebal teoritis lapisan, dimana kedudukan tebal lapisan (d) sebanding dengan rapat arus yang diwakili oleh kuat arus (I). Sehingga tidak mengherankan apabila kurva ketebalan aktual lapisan mengikuti pola yang demikian.

Sedangkan kaitan antara temperatur elektrolit dengan ketebalan lapisan yang dihasilkannya, tidak merupakan suatu hubungan yang terlibat dalam suatu persamaan teoritis, sehingga penentuan adanya hubungan tertentu antara keduanya murni merupakan hasil dari tindakan praktis yang dilakukan. Sama halnya dengan pada tinjauan massa lapisan, pengaruh temperatur elektrolit terhadap tebal lapisan juga didasari temperatur optimum bagi aktivasi partikel tembaga yang terkandung dalam ion Cu^{2+} , dan juga berdasarkan temperatur optimum bagi terjadinya kedua proses di kedua sisi elektroda. Baik proses oksidasi di sisi anoda, maupun peristiwa reduksi di bagian katoda.

SIMPULAN

Dari data-data yang diperoleh dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Massa lapisan aktual rata-rata yang dihasilkan dari proses elektroplating sebanding dengan tingkat penambahan rapat arus yang mengalir.
2. Untuk setiap varian data rapat arus yang berbeda, didapat nilai efisiensi katoda optimum pada proses pelapisan bertemperatur 40 °C, yakni berkisar pada tingkat 90 – 97,78 %. Sedangkan secara keseluruhan, efisiensi katoda maksimum didapat pada kondisi pelapisan dengan rapat arus 3 A/dm² dengan temperatur elektrolit 40 °C, yakni sebesar 97,78 %.
3. Secara tinjauan ketebalan lapisan, lapisan aktual dan teoritis mengalami penyimpangan harga sebesar 0,42 – 18,37 %. Dengan nilai penyimpangan terkecil pada kondisi pelapisan dengan rapat arus 3 A/dm² dengan temperatur elektrolit 40 °C, yakni sebesar 0,42 %, dan penyimpangan terbesar pada rapat arus 2 A/dm² bertemperatur 40 dan 50 °C, yakni sebesar 18,37 %.

4. Temperatur elektrolit secara matematis tidak memiliki pengaruh pada lapisan yang dihasilkan pada suatu proses elektroplating, akan tetapi pada praktiknya memiliki dampak yang cukup kentara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daryanto, Amanto, H.,1999, "*Ilmu Bahan*", Bumi Aksara, Jakarta.
- [2] Hakim, R.,2005, "*Menentukan Modulus Elastis Lapisan Chromium dan Nickel pada Substrat Baja Karbon Rendah Menggunakan Metode Getaran Bebas*", Universitas Lampung, Lampung
- [3] Purwanto, Syamsul H, 2006, "*Teknologi Industri Elektroplating*", Universitas Diponegoro, Semarang
- [4] Van Vlack, Lawrence. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta.
- [5] Wahyudi,S.,1999, "*Buku Saku Elektroplating*", Technic, Bandung.